

Weekly Report

Period: 2018/9/10-2018/9/17

Reporter: Li Zongzhuang

Done

本周，对于国家电网项目的代码进行熟悉和学习。同时参考着王琦学长毕业论文以及之前国家电网项目的论文进行着论文的撰写。但很多内容还没有做更多的调整和润色，还需要继续修改。对于背景方面已经基本结束，部分的任务分析也已经有所涉及。

To do

目前仍是在尽快把能写出的内容写出来。与此同时，对于了解代码的要求也在加深。接下来，需要在写作论文的同时，继续熟悉练习代码。

绪论

1.1 课题背景

电力系统稳定是电力系统中的一个基本问题。电力工业因系统不稳定性会引起严重的停电事故和巨大的经济损失。由GIGRE研究委员会和IEEE电力系统动态性能委员会提出了电力系统稳定性的定义。大致可以分为三个基本变量：转子角稳定性、频率稳定性和电压稳定性。

电网是电力系统的一种经典形式，被描述为通过发电机向用户传输电力的网络，一个组织良好的分配制度。电网的配置，每个节点编码总线和节点。每个线路代表连接两条母线的电力线。一个电网是复杂的、动态的、多方面的系统。直到现在还没有一种可行的方法来纪录系统的情况。而控制实验，对实际的电力系统可能会造成意外的损失。使得模拟计算性能分析成为唯一可以接受的方法。目前在实际应用中已经验证，模拟计算可以达到比较精确的测试。定期运行数据模拟，对实际事件进行推理，预防性问题分析。仿真数据，尤其是暂态稳定计算在指导电网稳定运行中起着重要的作用。

仿真数据通常是描述每个节点中每个变量的演变的一组时间序列。在模拟它的运行、故障和恢复过程中，不同形式的不稳定性伴随着它的演化过程而出现。数值模拟方法如李亚普诺夫函数及其变分已被证明是研究动态和瞬态不稳定性的独特手段。因而，分析人员要识别故障事件的发生，研究故障事件的类型和模式，并通过分析变量的时间序列来推断故障事件的原因，是非常麻烦的。目前缺乏定量描述电力系统稳定状态的理论模型。传统的统计方法，如统计质

量控制，提供了基于点的稳定性判断，但对于刻画全局趋势和模糊变化是低效的。

电力系统的模拟数据包含多个变量及其演化。稳定性状态是所有变量演进的综合结果，要求对演进的细节和表达性视觉证据的可靠表示。

本文基于数值模拟数据，特别是暂态稳定数据，对电网稳定性进行了可视化分析。特别地，将统计质量控制（SQC）方法集成到具有创新视觉设计的稳定性时间的检测和研究中。对基于SQC的方法的增强促进了细粒度的稳定性判断，而细粒度的稳定性判断又通过富有表现力的视觉证据得到增强。

将SQC方法、可视化编码、领域知识和领域专家的经验无缝结合视为推进智能电网的新机会。我们的工作密切合作领域专家和经验丰富的电力仿真运营商。它们提供领域经验、程序、数据集和分析任务。最终设计和实现了一个综合的视觉系统，以支持多时间序列的视觉探索和分析，识别和区分显著的不稳定模式。

支持电网的异常、不稳定和故障的勘探、识别和推理的可视化分析系统。视觉编码和SQC方法的系统集成，为研究可能影响系统稳定性的多个相关因素的联合效应提供可靠的视觉证据。一套用于数字时间序列的视觉设计，使分析人员具有对全球趋势、局部变化和多变量随时间变化的相关性的视觉检查的能力。

电力系统仿真分析广泛应用于电力系统运行、规划、设计等领域，是电力系统的一项基础性支撑技术。经过数十年的发展，我国基于机理模型的电力系统仿真计算技术已处于世界前列，已有PSD、PSASP、ADPSS、PS-Model，以及全过程仿真软件等诸多广泛应用的自主知识产权优秀产品，可以基本满足大电网仿真分析的需求。

电力系统仿真分析中的“仿真”是指对电网元件进行数学建模，使用微分-代数方程组表达各个元件的外特性，通过求解这个方程组得到系统的状态变量值，从而掌握整个系统的情况。“分析”则是基于得到的仿真结果进行系统特性研究、控制措施制定等工作。在实际工作中，电网仿真分析可以看作是“提出假设”与“计算验证”的循环过程。

先进的仿真计算技术必须要有先进的数据分析技术和人机交互方式才能充分发挥其作用。虽然目前的各类电网仿真软件均由结果可视化和报表功能，但其着重点仅限于数据的展示，对于数据规律的分析主要还是依靠人工进行只能观察很少的重要元件和断面。这极大地限制了对仿真结果和仿真能力的应用，使得许多在计算结果中蕴含的电网运行规律难以被发现。

在人类的各类感觉器官中，人眼具有最强的信号处理能力。因此视觉是获取信息的最重要通道，超过50%的人脑功能用于视觉感知，包括解码可视信息和思考可视符号等。但是，人类的视觉工作内存很小，在认知过程中常常需要依靠外部帮助。图片、图形等在过去两百年间是人类认知过程中最重要的工具。可视化是人类在认知过程中产生的对事物的认知视图，易于理解并有利于知识交流。而信息可视化是让计算机绘制动态、交互的外部辅助视图，目的是增强人的认知能力。

随着数据规模的增加，直接呈现数据会导致显示空间不足、图元遮挡、绘制效率低等问题。另外，现代分析任务更加复杂，仅仅依赖可视化难以令人发现隐藏在数据背后的模式，迭代式交互分析是领域专家认识和理解数据的重要方法。为此，可视化专家提出了可视分析概念，它是一种通过交互式可视化界面来辅助用户对大规模复杂数据集进行分析推理的科学和技术。可视分析不仅仅是可视化，它集成了可视化、人的要素（如交互、认知、感知、合作、表示和传播）和数据分析等。相对于可视化，可视化分析整合了信息分析、地理空间分析和科学分析等技术，而且人的要素在人与机器的通信过程和决策过程中起到非常重要的作用。可视分析是人的智能（知识和经验）和机器智能（计算）多次协作的迭代过程。

可视分析有效融合了计算机强大的计算能力和人的认知能力，能够发挥二者的优势完成各自擅长的任务。因此，可视分析是交叉融合了可视化、人机交互、认知科学、数据挖掘、信息论、决策理论等研究领域的新研究方向。

在可视分析中所提供的数据驱动的分析工具，能够有助于分析人员从更多地角度、更深入地探索海量仿真数据中所蕴含的规律，使得电网运行分析具有更强地研究性，适应我国电网高速发展的现状。

电力系统在运行时，在电源电势激励作用下，电流或功率从电源通过系统各元件流入负荷，分布于电力网各处，称为电力潮流。电力系统是把很多的发电站、变电站、配电站、用户等由输电和配电线路连接起来形成的系统。电力(电能)是在发电站产生的，其中一部分在经过输配电线、变电站和配电站时损失掉，剩下的绝大部分最终被负荷所消耗。这样，从电的产生到被负荷消耗，流过哪一路输配电线，各节点电压是多少，这种计算就叫电力潮流计算或简称潮流计算。

电力系统潮流计算是研究电力系统稳态运行情况的一种基本电气计算。它的任务是根据给定的运行条件和网路结构确定整个系统的运行状态，如各母线上的电压（幅值及相角）、网络中的功率分布以及功率损耗等。电力系统潮流计算的结果是电力系统稳定计算和故障分析的基础。

潮流，是电力系统的专业术语，指的是功率。电力系统在运行时，在电源电势激励作用下，电流或功率从电源通过系统各元件流入负荷，分布于电力网各处，称为电力潮流。电力系统是把很多的发电站、变电站、配电站、用户等由输电和配电线路连接起来形成的系统。电力(电能)是在发电站产生的，其中一部分在经过输配电线、变电站和配电站时损失掉，剩下的绝大部分最终被负荷所消耗。这样，从电的产生到被负荷消耗，流过哪一路输配电线，各节点电压是多少，这种计算就叫电力潮流计算或简称潮流计算。

电力系统潮流计算是研究电力系统稳态运行情况的一种基本电气计算。它的任务是根据给定的运行条件和网路结构确定整个系统的运行状态，如各母线上的电压（幅值及相角）、网络中的功率分布以及功率损耗等。电力系统潮流计算的结果是电力系统稳定计算和故障分析的基础。

潮流分析的目的在于获得电力系统的某个静态运行点，即所谓的潮流断面。由于电网是实时运行的，因此任何对于电网的计算和分析都需要从电网的某个断

面出发来进行，例如系统发生故障前一刻的电网运行状态。也就是说潮流计算的结果除了用于潮流分析外，还需要用作其它计算分析输入数据的一部分。

潮流分析可以大体确定电网的一般运行状况（不考虑故障之类的冲击，这种冲击由暂态稳定分析考虑），比如各母线的电压。通过对数据的调整（按照一定要求），可以使潮流计算结果趋于合理，在满足相关要求的同时，也能为其它计算提供良好的基础。例如，如果发现电网内某些母线的电压偏低，可以通过投入无功补偿的方式使之升高。

潮流分析的结果可以用于作为电力系统实际运行的参考，即在实际电网调度中，正常情况下系统的控制边界都在已经计算过的潮流方式之内，比如系统的实际大运行方式不会超出之间计算的潮流大方式。当然，在具体下达调度命令时，调度员还是有一定的自由决定权的，只要系统运行在已经分析过的潮流方式框架之内就可以。

通常情况下，在一次电网分析工作中，需要进行多个运行方式的潮流分析并得到相应的潮流计算结果，诸如系统运行的大方式（重负荷）、小方式（轻负荷）等。基于这些结果，一方面可以确定电网在多个不同运行方式下的潮流分布情况，并采取相应措施；另一方面也能使暂态稳定、小扰动等计算可以基于不同的电网运行方式进行，获得更好地分析效果。

需要注意的是，在进行潮流计算和分析时，通常会考虑电力系统所谓的较极端的运行方式，如大方式和小方式，同时也会考虑电力系统的几种常见的中间运行方式。或者说，通过潮流计算和分析可以大体确定电力系统正常运行的边界和常见的稳定运行情况。

暂态稳定计算在电力系统规划和运行分析中占有重要位置。它不仅为规划系统的电源布局、网络接线、无功补偿和保护配置的合理性提供电力系统暂态稳定性的校核，为制定电力系统运行规程提供可靠的依据，而且可用于研究各种提高暂态稳定的措施并为继电保护和自动装置参数整定提供依据。

暂态稳定计算通常是由一个潮流计算结果开始，以故障作为输入，在某一时刻（每一步迭代）输入到计算中进行迭代，迭代的每一步代表一个时刻。在计算出结果后，研究院通常依靠观察攻角的变化来判断电网系统是否稳定。相比潮流计算，暂态稳定计算输出的物理量的个数更多，因而更有利于我们进行切入。

1.2 同行研发情况

到目前为止，监控电网的主要方式是通过对暂态稳定计算的结果进行计算和判断，从而掌握电网的运行状态。然而现有的方法仍有许多问题：

一是特征值都是人工提取的，关联关系太多，特征之间的关系不清楚；
二是现有的电网监控系统更加注重于特征值的计算与计算结果的展示，未能利用数据可视化的方法将数据统筹到一张图表中，使得监控起来繁杂难用；
三是现有的电网监控研究大多都在研究微网，即对城市内配电网的监控与判断，对于大尺度下的高压输电网，即从发电机到城市配电站之间的电网研究少之又少。

1.3 项目研究目标和内容

本项目依照现有的，通过模拟计算所得到的模拟电网特征数据，包括电网各关

键节点（我们称之为“母线”）的电压值、频率值，以及模拟电网中的模拟发电机之间的相对功角值，对电网的暂态进行可视化编码与展示。

并且，我们会提供不同的图表格式，包括堆叠图，带状图等，对数据进行展示，并对数据进行统计与特征值提取，计算出一些合理的特征值，展现在项目中，供研究人员进行查阅。

同时，我们可以根据一些控制图计算算法计算出超出阈值的片段，以方便研究员进行后续分析，并可以将研究人员的分析结果记录到后端数据库中，以方便后人查看。

不仅如此，我们还会对大规模数据进行部分适配，以保证即使数据的规模比较大，整个系统的效率也能够合乎要求。

最后，我们会使用真实数据来验证我们设计的所有算法的合理性与准确性，并能给研究人员以提示。

2. 数据抽象与任务分析

2.1 数据抽象

仿真数据记录了电力网络的运行状态。母线是一种由高导电率的铜（铜排）、铝质材料

制成的，供“电站”或“变电站”使用以输送电能的产品。它具有汇集和分配电力的能力。网络中的每一个节点标识了一段母线，而一小部分节点标识了搭载在母线上的发电机。节点之间的连接是连接母线和供电区域的电力线。电气距离是指由母线间电力线路的正序阻和电抗所定义的物理量，指的是电网中对节点的电气接近度。完善的数学模型可以从电力系统中抽象出节点链路结构，并构建一组包括数以千万计个变量的微分方程。通过改变迭代求解微分方程组时的初始计算配置可以获得一个求值集合，关于这个集合的可视化与分析已经引起了很大的关注。

在本文中，我们研究了用潮流计算模型对暂态稳定数据进行仿真计算。该仿真程序建立了基于电网基础设施（如母线，变压器和负载）的数学建模，将最常见的五类电气故障设置为模型输入，包括母线接地、交流线路断开、发电机退出、线路接地和参数设置错误。仿真结果是一组能够说明电网设备随时间的动态变化状态的时变多变量数据。通常的，需要计算出多个时变物理量来描述电网设备状态的变化过程。本文作者选择了三个最有意义的特征来支持电网的稳定性分析：电压，频率和相对功角。频率和电压可以用来描述电网中所有节点的运行状态，相对功角则被用来描绘发电机对之间的状态。如果电网运行稳定，没有发生电气故障，功角值将保持不变；这个值的变化和波动只有在触发故障时才会发生。例如，当电气故障发生后，若电压值保持波动且不能收敛到一个恒定值，则电网很可能不稳定。类似地，这些特征值的任何异常变化都可以被认为是系统不稳定的暗示。由于电网的互联互通，特征的波动可能随时间而相互影响，使得电网稳定性分析更具挑战性。

总之，仿真数据记录了电气故障前后一系列物理特征的计算结果。采用传统的统计分析技术和折线图等可视化图表，电力分析人员可以观察到故障的发生，但很难推断故障事件的具体类型和模式，而如何描述不同变量间的时变关系也就变成了一项更具挑战的任务了。因此，本文合作者希望可以以一种直观客观的方式来刻画故障事件中不同变量随时间变化的相互影响。他们认为，这些特征的数值和统计值对于稳定性分析是有价值的，因为它们与整个系统的能量密

度和分布有关，发明直观而全面的稳定性可视化分析方法具有重大意义。

2.1 任务分析

本文合作者从一开始就参与了这项研究，他们都对分析任务有深刻的理解。本文作者与他们展开了定期的讨论，并从讨论中提炼出新的要求和改进设计思路。每次讨论至少有一位在电力系统分析方面具有丰富实践经验的领域专家或操作员在场。分析任务和要求在每次讨论中不断地被更新迭代，以指导系统设计。总体来说，本系统承担了四个分析任务：

任务一，判断电网是否稳定。本文合作者高度重视电网的稳定性分析。一旦出现电气故障，电网可能发生不可逆的变化并进入不稳定状态，或者起初波动最终回复到稳定状态。电网能否在故障触发后保持稳定是本文合作者最感兴趣的问题。

任务二，回答在何种情况下电网可能会进入不稳定状态。不稳定的电网可能会有不同的表现形式，即不同类型的不稳定性在时变多变量数据集上可能会表现出不同的特征。分析师期望找出是何种故障（母线接地、交流线路断开或发电机退出等）导致了当前的电网不稳定状态。

任务三，找出电网不稳定状态下的典型模式。在确定故障类型后，分析师希望进一步地调查电网失稳状态下的典型特征（如周期性失稳或单摆失稳）。这些特征不仅可以用来对电网进行不稳定类型分类，同时可以帮助分析师更好地理解电网的失稳状态。

任务四，找出导致电网失稳的具体原因，如故障出现在具体哪段母线上等。本文合作者对电网不稳定的情况推理表了现出强烈的兴趣。了解电网变得不稳定的原因不仅有助于采取相应的措施，从而减轻电力故障带来的成本，也有助于防止这种问题再次发生。

为完成上述任务，本文作者与合作者讨论，总结出了六个要求：

要求一：描述整个电网的拓扑结构。应该给出电网及其配置的概述，以支持对总体结构和模式的认识。

要求二：刻画整个电网的运行状态。计算出的时变多变量数据预示着全网状态的演变，一个合理的交互界面有助于展示并鉴别全网变化趋势及每个变量变化的细节。

要求三：异常检查。异常的值（某一时刻的值）或模式（某个时期内值的变化）很可能表征了电网的不稳定性。因此，自动异常值检测算法对于支持异常值的有效识别是必需的。检测到的异常应该通过独特的视觉编码自动高亮，以便分析人员能够根据其领域的专业知识和经验发现异常模式。

要求四：检测多个变量的时序数据。不同变量的值会随着时间的推移而变化，这点在发生大型故障时尤其明显。系统应该支持在某个时间点或某个时间段内对变量进行逐一观察，以便分析人员能够专注于更详细的特征变化。而且，视觉编码和设计应该能够说明不同变量的周期性变化和异常模式。

要求五：设计成对时变序列的可视化方法以提供观察“时序多变量数据对异常演变的影响”的直观手段。除了研究个体变量的变化之外，对变量对（如电压和频率）的比较和匹配检测对于不稳定性的分析具有重要价值。

要求六：显示电网存在的局部扰动。一旦电网波动后稳定，大部分特征值趋于保持不变。然而，在整个电网保持稳定的情况下，多个节点的频率扰动仍然存在。因此，除了揭示不同变量的整体变化外，还应展示电网内存在的局部扰动。

3.1 可视化设计目标

在研发之前，系统设计思路要根据领域专家的意见反复评估和提炼。提出以下四条可视化设计指南，使得本文的可视设计可以适配特定的领域特征：

针对特定任务的解决方案需要对不同对象和数据样本进行可视化分析。而且，各方面的分析都应纳入设计过程，如定量分析和比较分析。现有的用于稳定性分析的可视化尝试大多是分散的，因为单个问题的解决方案总是被分解成一系列独立的视觉形式。相反，本文工作应寻求一个系统的设计方案，实现所有需要的分析方面的综合。最终设计应是所有研究点紧密相关的观点的组合，从而形成一个完整的系统的可视化解决方案。

可视化设计应该容易理解。我们大多数的合作者缺乏可视分析的经验，他们唯一的尝试是曾经对时间序列进行过检测。因此，易于理解的直观可视化设计将有利于对数据进行探索，从而最大限度地降低学习成本。比如，可以考虑自然的方式结合基本的统计图表和基于时间线的设计等。

视觉设计应该是物理上有意义的。模拟数据记录物理系统的动态，因此数据处理方法和视觉编码都应该保持物理意义。

用户认知和交互应该是直观的。视觉认知和交互使得在知识发现过程中涉及领域专业知识成为可能。领域专家通常不熟悉复杂的交互，因此，不应提供相对复杂的视觉编码和交互。

本系统的核心在于使用统计和可视化方法来检测和研究电网系统的不稳定性。